

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2015

Rostislav Holý

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Popularizační modely pro elektroenergetiku

**Popular Science Models for Electric Power
Engineering**

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Zadání bakalářské práce

Student: **Rostislav Holý**
Studijní program: B2649 Elektrotechnika
Studijní obor: 3907R001 Elektroenergetika
Téma: Popularizační modely pro elektroenergetiku
Popular Science Models for Electric Power Engineering

Zásady pro vypracování:

Teorie a realizace Jakubova žebříku
Teorie a realizace Mendocino motoru
Theory andy creation of Jacob's ladder
Theory andy creation of Mendocino motor

Seznam doporučené odborné literatury:


KALOUSEK, Vlastimil, Jiřina SCHIEBLOVÁ a František STANĚK. Technika vysokých napětí. Vyd. 1. Brno: Vysoké učení technické, 1989, 121 s. ISBN 80-214-0015-3.
CHMELÍK, Karel. Stejnoseměrné a komutátorové elektrické stroje, obecný stroj. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2001, 127 s., [1] l. obr. příl. ISBN 80-7078-857-7.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Tadeusz Sikora, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2014

Datum odevzdání: 07.05.2015



prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.
vedoucí katedry



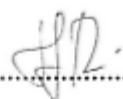


prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

„ Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal. “

V Ostravě dne 6.5.2015

Podpis student

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval Ing. Tadeuszovi Sikorovi, Ph.D za cenné rady, věcné připomínky a vstřícnost při konzultacích a vypracování mé bakalářské práce.

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá teoretickým rozбором a sestavením dvou elektronických modelů: Jakubova žebříku a Mendocino motoru. Obsahem této práce je vysvětlení základních principů funkčnosti těchto zařízení a demonstrace funkčnosti na sestavených modelech. Podstatou Jakubova žebříku je elektrický oblouk hořící mezi dvěma elektrodami. U Mendocino motoru, je základem vznik elektromagnetických sil vlivem procházejícího proudu cívkami a jejich působení s magnety a fotovoltaiický jev.

Klíčová slova

Jakubův žebřík, elektrický oblouk, vysoké napětí, magnetismus, fotovoltaiické články, Mendocino motor

Abstract

This thesis deals with the theoretical analysis and assembling of two electronic models Jacob's ladder and Mendocino engine. The content of this paper is to explain the basic principles of functionality of these devices and to demonstrate the functionality of assembled models. The essence of Jacob's ladder is an arc which is burning between two electrodes. In the case of Mendocino motor is basic creating electromagnetic forces due to the current passing through the coils and their interaction with magnets and photovoltaic effect.

Key words

Jacob's ladder, Electric arc, medium voltage, magnetism, photovoltaic effect, Mendocino engine

Seznam některých použitých symbolů a zkratek

Seznam některých použitých zkratek

max.	Maximální
min.	Minimální
obr.	Obrázek
tab.	Tabulka
UV	Ultrafialové záření
nn	Nízké napětí
vn	Vysoké napětí
vvn	velmi vysoké napětí
VŠB-TUO	Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava
NO	Oxid dusný
NO ₂	Oxid dusičitý
Si	Křemík
GaAs	Arsenid galia
CdS	Sulfid Kademnatý
B	Bor
Fe	Železo
Nd	Neodymium
Ba	Barium
Sa	Samarium
Ni	Nikl

Seznam některých použitých symbolů

f	(HZ)	Frekvence
I	(A)	Elektrický proud
U	(V)	Elektrické napětí
t	(s)	Čas
U _p	(V)	Průrazné napětí
U _{zot}	(V)	Zotavené napětí
U _o	(V)	Obnovené napětí
ω ₀	(s ⁻¹)	Úhlová frekvence
B	(T)	Magnetická indukce
H	(A/m)	Intenzita magnetického pole
T	(°C), (K)	Teplota
B _r	(T)	Remanentní (zbytková) magnetická indukce
H _s	(A/m)	Intenzita nasycení
H _c	(A/m)	Koercitivní síla
Φ	(Wb)	Magnetický tok

Obsah

1	Úvod	1
2	Jakubův žebřík.....	2
2.1	Využití Jakubova žebříku	2
2.2	Sestrojení Jakubova žebříku	3
2.3	Náklady na výrobu Jakubova žebříku	3
2.4	Zabezpečení	6
2.5	Elektrický oblouk	6
2.6	Vypínání elektrického oblouku ve střídavých obvodech	6
2.6.1	Statická charakteristika	8
2.6.2	Dynamická charakteristika	9
2.7	Transformátor	9
2.8	Měření transformátoru naprázdno a nakrátko.....	10
2.9	Autotransformátor	13
3	Mendocino levitující motor	15
3.1	Využití Mendocino motoru	16
3.2	Sestrojení Mendocino motoru	16
3.3	Náklady na výrobu Mendocino motoru	18
3.4	Princip fotovoltického článku	19
3.5	Materiály pro fotovoltické články	20
3.6	Magnet	21
3.7	Hysterezní křivka	21
3.7.1	Magnetický měkké materiály	22
3.7.2	Magnetický tvrdé materiály	23
3.8	Stejnoseměrné stroje	24
4	Závěr.....	25
5	Literatura	26

1 Úvod

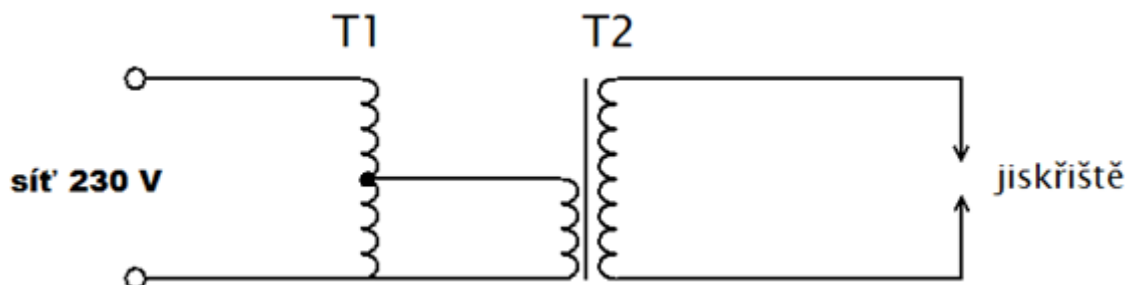
Tato bakalářská práce, se zabývá popularizačními modely pro energetiku. Cílem této bakalářské práce je návrh a konstrukce dvou modelů, které mohou být pro veřejnost zajímavé. Každá firma, nebo podnik, včetně vysokých škol řeší v rámci firemní komunikace i sebepropagaci, například ve formě dni otevřených dveří a různých exkurzí. Právě pro tyto akce, jsou modely, kterými se tato bakalářská práce zabývá zajímavé. Popularizační modely, slouží k zaujetí návštěvníků s cílem poučení. Na Jakubově žebříku a Mendocino motoru, může široká veřejnost vidět, že elektroenergetika je velice zajímavý a potřebný obor. Seznámení veřejnosti s elektroenergetikou je velice důležité, jelikož se tento obor zabývá návrhem různých elektrických strojů, návrhem vedení, zabývá se problematice elektráren a mnoha dalších důležitých věcí, které lidstvo využívá prakticky nepřetržitě.

Modely se dají použít také v mnoha předmětech, jako učební pomůcky, na kterých se dají sledovat velice zajímavé jevy, jako je například hoření oblouku a levitace motoru na magnetickém poli.

Jakubův žebřík je modelem, na kterém můžeme pozorovat elektrický oblouk. Tento jev je v elektroenergetice velice dobře známý, například u zkratů, nebo ve vypínačích. Na tomto modelu se můžeme více sblížit s jeho problematikou a pochopit co všechno hoření oblouku obnáší. Při hoření oblouku vzniká teplo, plyny a je zde vysoké napětí. Proti těmto jevům, je třeba se chránit, i tímto problémem se tato bakalářská práce bude zabývat.

Mendocino motor je druh stejnosměrného motoru poháněného fotovoltaiickými články. Na tomto modelu se dá vysvětlit princip fotovoltaiického jevu, nebo popsat interakci mezi magnetem a elektromagnetem, který je tvořen cívkou kterou prochází proud. U tohoto modelu se tedy práce zabývá problematikou magnetického pole a fotovoltaiického jevu.

2 Jakubův žebřík



obr. 1: Schéma zapojení Jakubova žebříku

Tento elektrický přístroj funguje tak, že nejdříve přivedeme vstupní napětí ze sítě tedy 230 V, při frekvenci 50 Hz na svorky autotransfornátoru T1 (viz obr. 1). Díky tomuto typu transformátoru můžeme nastavovat různé hodnoty napětí, které bude na svorkách primární cívky, dalšího transformátoru T2, ve kterém se transformuje, až na hodnotu napětí 10 kV, při proudu 50 mA. I když je tento proud velice malý, při napětí 10 kV může být výstupní signál transformátoru životu nebezpečný. Na výstupních svorkách sekundární cívky transformátoru jsou připojeny dvě elektrody z mědi jdoucí vzhůru, které jsou na začátku ve vzdálenosti 0,5 cm – 1 cm a v nejvyšším místě jsou vzdáleny 4 cm – 10 cm od sebe. Použití autotransfornátoru pro tento model není nutné, ale v případě že je zapojen dosáhneme lepší ovladatelnosti oblouku. Oblouk totiž hoří již při nižších hodnotách napětí, než je již zmíněných 10 kV.

Vlivem vysokého napětí (10 kV) zde vzniká velice silné elektrické pole, které ionizuje vzduch kolem elektrod a dochází tak, k průrazu elektrické izolace vzduchu a ke vzniku elektrického oblouku. Průchodem proudu vodiči a přes oblouk se vytváří magnetické pole, které má tendenci působit směrem ven ze smyčky. Vlivem této síly je oblouk hnán po elektrodách směrem nahoru a tím se zvětšuje jeho délka a elektrický odpor. Čím větší je délka oblouku, tím menší proud oblouk potřebuje pro svou existenci, ale naopak zvětšuje se jeho napětí. Nakonec je oblouk tak veliký, že zdroj nedodává dostatečné napětí a oblouk uhasíná.[1],[2]

2.1 Využití Jakubova žebříku

Jakubův žebřík je možné využít jako ukázkový model, na kterém se dá předvést například zhášení oblouku pomocí vyfouknutí. Tento model by mohl být použit například v předmětech :

- 410-2206 Elektrické přístroje I
- 410-4119 Elektrické přístroje II
- 410-2205 Technika vysokého napětí
- 410-4120 Elektrické přístroje III

2.2 Sestrojení Jakubova žebříku

Při sestrování Jakubova žebříku je důležité, začít vhodným rozložením jednotlivých komponentů na základní desku. Tedy prvním krokem je výkres obsahující všechny komponenty zakresleny tak, jak budou vypadat na finální podobě modelu. Dalším krokem je upravení měděných elektrod na správnou délku a jejich umístění na desku spolu s posuvným mechanismem elektrod tak, aby se dala měnit vzdálenost mezi elektrodami. Nyní je nutné vyvrtat díru v desce mezi elektrodami, která slouží k vyfoukávání oblouku. Následně je připevněna hadička, kterou je vháněn vzduch. Po upevnění elektrod následuje připevnění jednotlivých přístrojů na základní desku. Mezi tyto přístroje patří: transformátor napětí, autotransformátor, svorkovnice a jistič. Nyní je nutné vyrobít kryt, který schová veškeré díly modelu. Kryt je vyroben z 8 mm silného plexiskla a je pevně přišroubován k základní desce. Tento kryt má odnímatelnou vrchní část, která je připevněna šrouby. Vrchní část je odnímatelná z důvodů možné manipulace uvnitř modelu, např. zapínání jističe, nebo další úpravy a vylepšení modelu. Následuje propojení vodičů mezi jednotlivými komponenty modelu. Jako vodič byl použit kabel 2,5 mm² Cu. Po propojení komponentů následuje vyvrtání díry v místě, kde bude umístěn přívodní kabel. Aby vodič držel na správném místě, musíme ještě před přivedením kabelu do otvoru, vložit do díry kabelovou průchodku. Nyní se připojí napájecí kabel do svorkovnice, ze které vedou vodiče k jednotlivým komponentům. Posledním bodem je nalepení výstražných nálepek na kryt modelu. Nálepky upozorňují na výskyt UV záření, vysoké napětí a toxicitu Oxidu dusného a dusičitého.

2.3 Náklady na výrobu Jakubova žebříku

Seznam komponentů použitých pro výrobu Jakubova žebříku včetně pořizovací ceny:

Autotransformátor Thalheimer ESS 104	4200 Kč
Transformátor	3200 Kč
Plexisklový kryt	6000 Kč
VN kabel	220 Kč
Základní deska	200 Kč
Jistič + svorkovnice	200 Kč
Samolepící výstražné tabulky	100 Kč
Další drobné díly	300 Kč
Celková cena modelu	14 420 Kč

Poměrně vysoká cena modelu je dána hlavně bezpečnostním krytem z plexiskla. V rámci úspory financí je možné použít kryt, který by schovával pouze elektrody. Cena krytu, který by schovával pouze elektrody, by byla okolo 2000 Kč. Pro tento model bylo použito plexisklo tloušťky 8 mm, v případě použití menší šířky plexiskla by náklady na kryt opět klesly. Použitím menšího krytu, nebo krytu s menší tloušťkou stěny by ovšem byla snížena bezpečnost tohoto modelu. Další možností je vyřazení autotransformátoru, který slouží jako regulátor napětí vstupujícího do transformátoru T1. Model sice bude bez autotransformátoru fungovat, ovšem nemůžeme plynule regulovat napětí oblouku.



obr. 2: Hoření elektrického oblouku na Jakubově žebříku

Na obrázku 2 vidíme hoření elektrického oblouku. Díky delší závěrce fotoaparátu vidíme, jak oblouk postupuje po elektrodách směrem nahoru. Na fotce vidíme "žebřík" tvořený jednotlivými pruhy, tyto pruhy jsou tvořeny půlperiodou sítě, každý pruh trvá 10 ms. Po tom co oblouk vystoupá, až do výšky kdy překročí svou kritickou délku, což je maximální vzdálenost při které je oblouk ještě schopen hořet, oblouk uhasíná.



obr. 3: Zánik elektrického oblouku a jeho znovu zapálení

Na obrázku 3 vidíme konečné stádium hoření oblouku, kdy vzdálenost mezi elektrodami je tak velká, že se oblouk natahuje směrem vzhůru, až dokud nedosáhne kritické délky. Po překročení této délky oblouk uhasne a ve spodní části vzniká oblouk nový, který opět vystoupá po elektrodách směrem nahoru.

2.4 Zabezpečení

Při hoření oblouku, dochází k elektromagnetickému záření, kdy se vlivem průchodu střídavého proudu vytváří záření, se stejnou frekvencí, jakou má daný proud. Toto záření tedy chápeme, jako proud částic, nebo také vlnu, která může škodit lidskému organismu. Elektromagnetické záření je zde zastoupeno v oblasti tepelné, kdy se projeví, jako teplo které oblouk vyzařuje, tak v oblasti ultrafialového spektra vyzářeného obloukem. Výkon oblouku je ovšem tak malý, že záření není člověku nebezpečné.

Další nebezpečí je vysoké napětí, při kterém oblouk hoří, toto napětí dosahuje hodnot okolo 10 000 V, Aby nemohlo dojít k úrazu elektrickým proudem, je celý model obklopen plexisklovým krytem tloušťky 8 mm, který dostatečně chrání osoby i při manipulaci v blízkosti modelu.

Při dlouhodobém používání Jakubova žebříku dále vzniká Oxid dusnatý (NO), který je za normální teploty bezbarvý. Tento plyn je ovšem jedovatý a při vysokých teplotách, které při hoření oblouku vznikají, dále oxiduje na Oxid dusičitý (NO₂). Oxid dusičitý je hnědé, až červené barvy. Tento plyn je prudce jedovatý a je pohlčován hlenem dýchacích cest. Při velké dávce tohoto plynu může způsobovat záněty dýchacích cest, nebo dokonce edém plic. Z tohoto důvodu je důležité Jakubův žebřík provozovat jen v krátkých intervalech, nebo ve velmi dobře odvětraných prostorách.[14],[15]

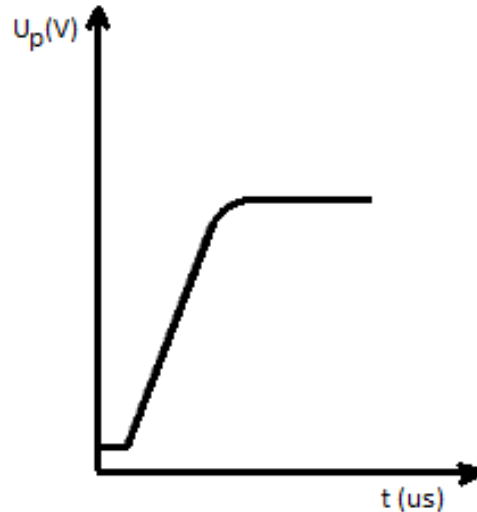
2.5 Elektrický oblouk

Elektrický oblouk je elektrický výboj válcového tvaru soustředěný do tenkého sloupce, který je tvořen ionizovaným plynem neboli plazmou. Elektrický oblouk je složen ze dvou částí : obal a jádro. Jádro oblouku může dosahovat teploty až 16000K a obal okolo 7000K, tyto teploty závisí na typu plynu, ve kterém oblouk hoří a na tom zda je oblouk chlazen. Rozlišujeme dva typy elektrických oblouků stejnosměrný a střídavý podle druhu napětí, kterým je obvod napájen. Kdy stejnosměrný oblouk má charakteristiku statickou, kdežto oblouk střídavý je proměnlivý s časem jeho charakteristika se mění a tudíž je nazývána dynamickou.[3]

2.6 Vypínání elektrického oblouku ve střídavých obvodech

V případě vzniku elektrického oblouku ve střídavých obvodech oblouk uhasíná samovolně při průchodu proudu nulou. Po tom co proud projde nulou a je uhašen, ovšem musíme zabránit jeho znovu zapálení tím, že oblast mezi kontakty musí mít dostatečnou průraznou pevnost a musí se zabránit takzvanému zotavenému napětí, které vzniká mezi kontakty.

Průrazná pevnost závisí na prostředí, ve kterém oblouk hořel a na tom, čím byl oblouk chlazený. I po uhasnutí oblouku je medium mezi kontakty stále vodivé, díky ionizaci plynů proto musí dojít k deionizaci prostředí mezi kontakty, což se provádí například odfouknutím ionizovaného vzduchu, který je mezi kontakty. [3]



Obr.4: Průběh závislosti průrazného napětí na čase[3]

Zotavené napětí je napětí, které bychom naměřili mezi kontakty po uhasnutí oblouku. Toto napětí je složeno ze dvou složek, první je obnovené napětí, nebo též nazývané napětí dodávané zdrojem a druhou složkou je přechodná složka s frekvencí f_0 začínající v nule a končící na obnoveném napětí. [3]

Pro zotavené napětí platí vztah :

$$u_{ZOT} = U_0 \cdot (1 - e^{-\alpha t} \cdot \cos \omega_0 \cdot t) \quad (1)$$

Pro výpočet frekvence nulové složky platí vztah:

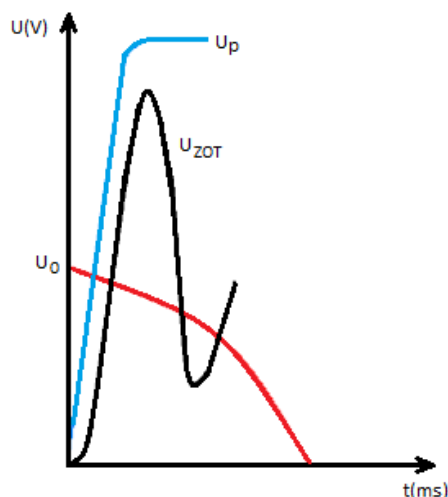
$$f_0 = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{L \cdot C}} = \frac{\omega_0}{2 \cdot \pi} \quad (2)$$

Pro překmit zotaveného napětí platí vztah :

$$p = \frac{U_M}{U_0} \quad (3)$$

Pro strmost zotaveného napětí platí vztah :

$$s = 2 \cdot p \cdot f_0 \cdot U_0 \quad (4)$$

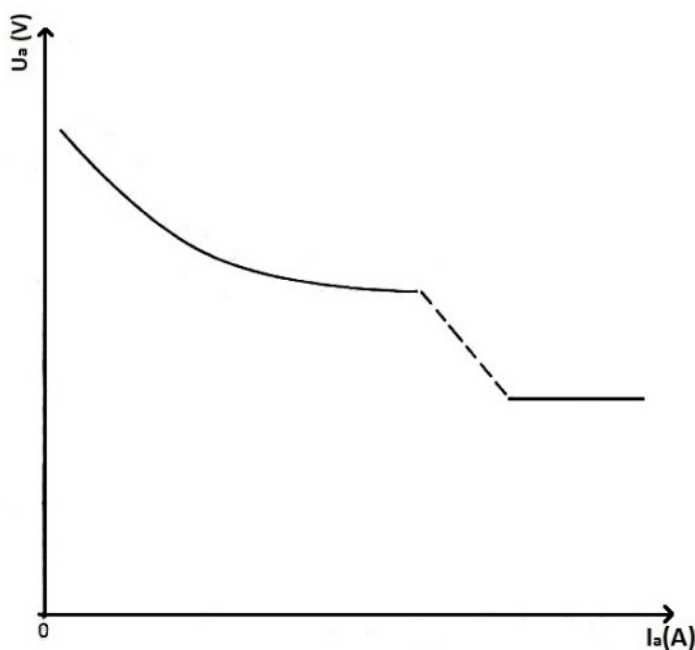


obr 5: Průběh zotaveného napětí a vzrůst průrazné pevnosti při správném vypnutí proudu[3]

2.6.1 Statická charakteristika

Abychom mohli tuto charakteristiku sestavit, potřebujeme nejdříve zjistit napětí oblouku. Pro výpočet napětí na stejnosměrném oblouku, použijeme rovnici paní Ayrtonové rovnice (5), kde l_a je délka oblouku, I_a je proud tekoucí obloukem, a α , β , γ , δ jsou konstanty, popisující druh a tlak plynu ve kterém oblouk existuje. Dále tyto konstanty popisují druh materiálu tvar a rozměry elektrod.[3]

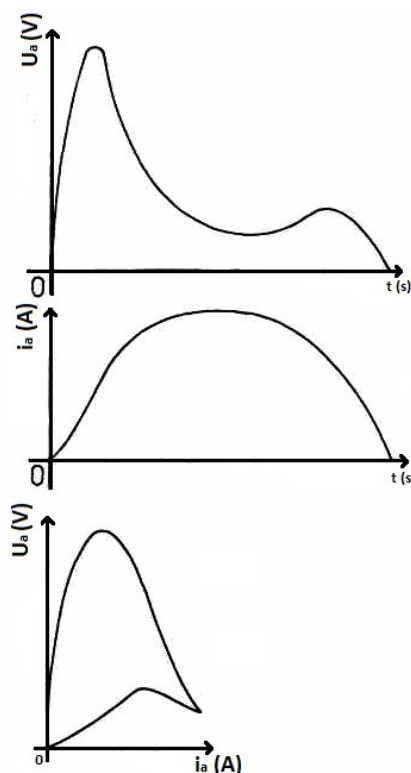
$$U_a = \alpha + \beta \cdot l_a + \frac{\gamma + \delta \cdot l_a}{I_a} \quad (5)$$



obr.6: Statická charakteristika oblouku[3]

2.6.2 Dynamická charakteristika

Problematika střídavého oblouku je odlišná od oblouku stejnosměrného v tom, že díky klesání a stoupání napětí a proudu na oblouku se charakteristika mění proto dynamická. V první půlperiodě stoupá napětí na elektrodách stejně jako napětí celého obvodu, až po dobu kdy hodnota napětí překročí hranici tzv. zapalovacího napětí, to je napětí při kterém začíná oblouk hořet. Nyní napětí oblouku klesne na hodnotu hořícího napětí, které se po určitou dobu téměř nemění. Na konci půlperiody dojde opět ke zvýšení napětí na oblouku, toto zvýšené napětí se nazývá zhašecí špička, při tomto napětí je proud tekoucí obloukem téměř nulový. [3]

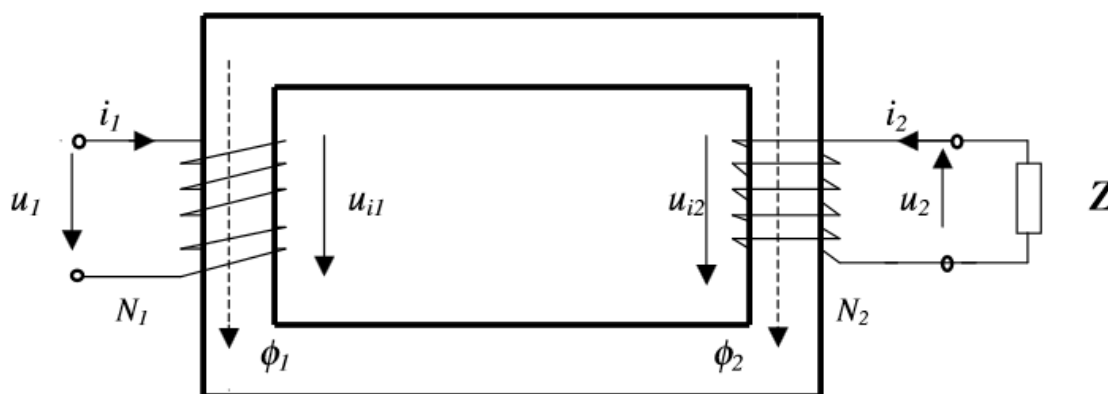


obr. 7: Časový průběh napětí a proud oblouku napájeného střídavým proudem a jeho dynamická charakteristika[3]

2.7 Transformátor

Transformátor je elektrický netočivý stroj, který mění energii jedné parametrů na energii jiných parametrů. V praxi se nejčastěji používá tam, kde potřebuje snížit nebo naopak zvýšit hodnotu napětí v obvodu, nebo pro galvanické oddělení obvodů. Galvanické oddělení znamená, že v jednom místě není obvod spojen vodičem, ale přesto zde dochází k přenosu energie. V případě poruchy funguje transformátor tak, že nedovolí průchod takového proudu, aby se na kostře přístroje za transformátorem neobjevilo nebezpečné napětí.

Transformátor, který budeme používat funguje tak, že po připojení napětí na primární cívku transformátoru začne cívkou téct proud, který vybudí magnetický tok ϕ_1 a na základě indukčního zákona se v sekundárním vinutí indukuje napětí které je určeno převodem $p = \frac{N_1}{N_2} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1}$. Nyní pokud zatížíme sekundární cívku transformátoru, začne přes ni téct proud, který je určen charakterem zátěže. Tento proud vybudí magnetický tok ϕ_2 , který působí proti smyslu magnetického toku ϕ_1 . [4]



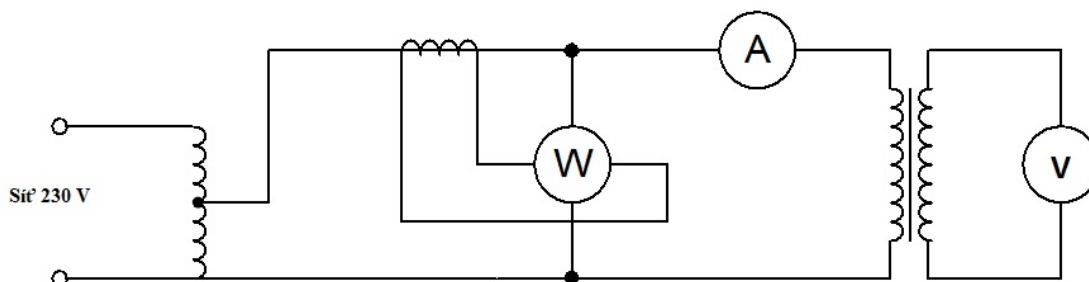
obr.8: Schéma jednofázového transformátoru[4]

2.8 Měření transformátoru naprázdno a nakrátko

Transformátor je elektrický netočivý stroj, který slouží ke změně (transformaci) napětí, Společně s napětím se transformuje i proud, Transformátor pracuje na základě elektromagnetické indukce, vstupní a výstupní obvod jsou spojeny pouze uzavřeným magnetickým obvodem, Transformátor tedy galvanicky odděluje vstupní obvod od výstupního.

Měření naprázdno

Při měření naprázdno je výstupní proud transformátoru $I_2=0A$. Proud primární stranou transformátoru při měření naprázdno se nazývá proud magnetizační, který je nutný k vybudení magnetického pole transformátoru. Měření probíhá při nastaveném jmenovitém napětí U_{1N} , které můžeme změřit na vstupních svorkách transformátoru.



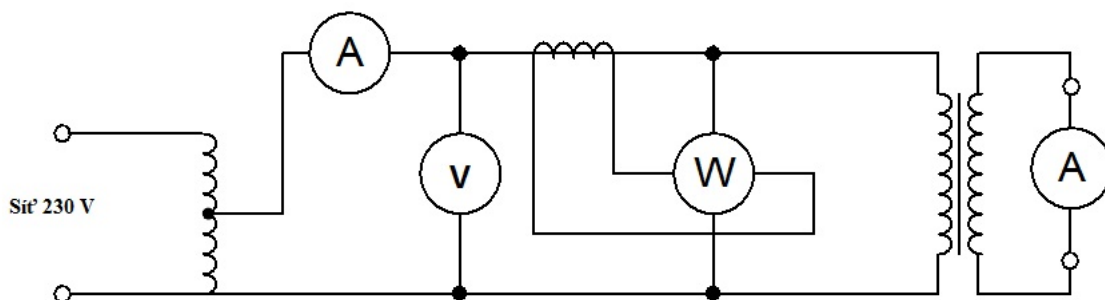
obr.9: Schéma pro měření naprázdno

tab.1: Hodnoty při měření naprázdno

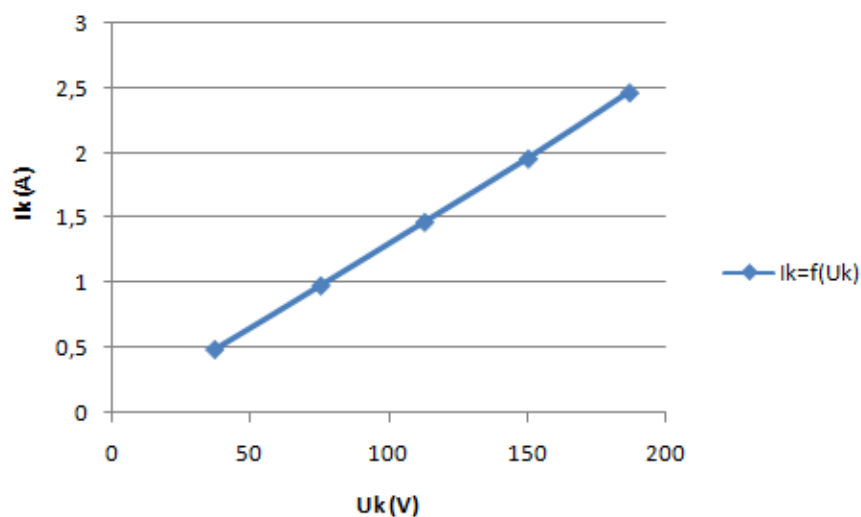
I_1 (mA)	U_1 (V)	P (W)	U_2 (kV)
328	230	14,2	10,9

Měření nakrátko

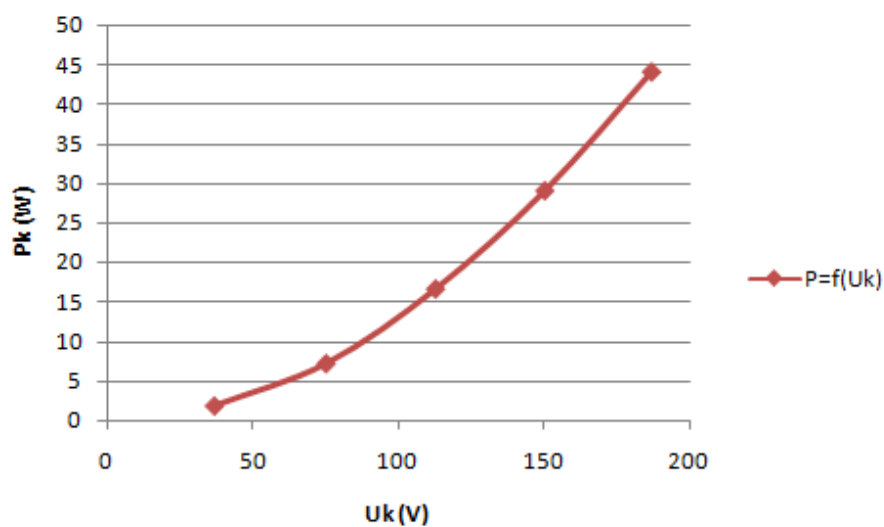
Při měření nakrátko jsou výstupní svorky transformátoru zkratovány a na vstupní svorky je přivedeno takové napětí, aby primárním vinutím tekla jmenovitý proud.

**obr.10:** Schéma pro měření nakrátko**tab.2:** Hodnoty při měření nakrátko

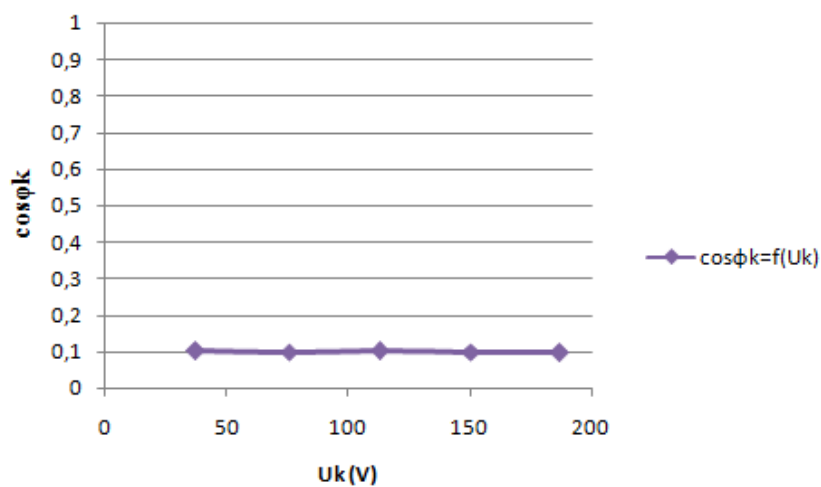
I_K (A)	U_K (V)	P_K (W)	I_2 (mA)	$\cos\phi_k$
2,47	187	44	50	0,095261
1,96	150,4	29	40	0,098377
1,47	113	16,6	30	0,099934
0,98	75,5	7,18	20	0,09704
0,487	37,2	1,82	10	0,100461



obr.11: Graf závislosti proudu nakrátko na napětí nakrátko



obr.12: Graf závislosti výkonu na napětí nakrátko



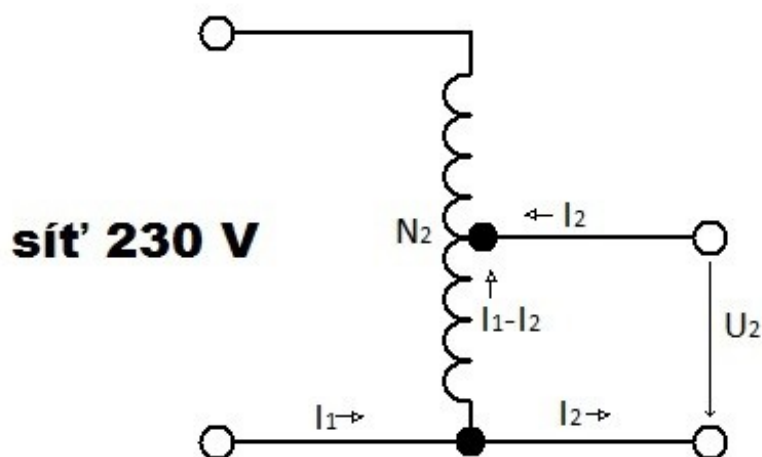
obr.13: Graf závislosti účinníku nakrátko na napětí nakrátko

2.9 Autotransformátor

Je to druh transformátoru, který má galvanicky spojenou primární a sekundární stranu vinutí. U tohoto transformátoru představuje vinutí sekundární určitou část vinutí primárního. Společnou částí primárního a sekundárního vinutí prochází rozdíl proudů I_1 a I_2 . Díky galvanickému spojení primárního a sekundárního vinutí, se autotransformátor nemůže použít jako bezpečnostní prvek, který by chránil zbytek elektrického obvodu před poruchou.

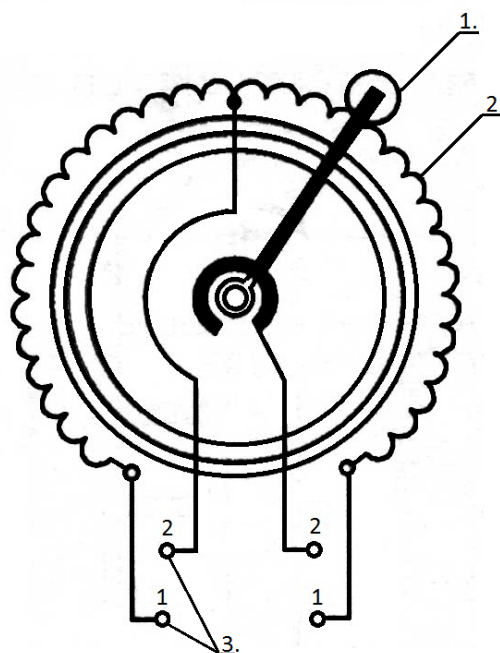
Při přerušení společné části vinutí se dostane vyšší vstupní napětí do obvodu nižšího napětí. Proto se autotransformátor smí použít jen k transformaci napětí v téže třídě - v sítích vvn, vn nebo nn.

Řiditelný prstencový autotransformátor má vinutí namotáno na lamelovém prstencovém jádru a požadované napětí je odebíráno přes uhlíkovou kladku, která se přejíždí přes vinutí, na kterém není izolace, tento způsob regulace napětí je velice jemný. Hlavním využitím autotransformátorů je spouštění indukčních a synchronních motorů.[16]



obr.14: Schéma jednofázového Autotransformátoru

V případě, že budeme tento autotransformátor používat k regulaci napětí oblouku na Jakubově žebříku, musíme počítat s vyššími hodnotami proudu vznikajícími při hořícím oblouku. Z tohoto důvodu je zde použit autotransformátor Thalheimer ESS 104, kterým můžeme regulovat výstupní napětí od 1V do 250V~ při proudu až do 4A.



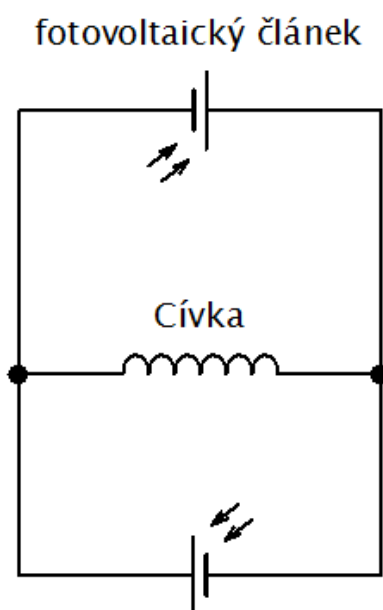
- 1.uhlíková kladka
- 2.vinutí bez izolace
- 3.vstupní a výstupní svorky autotransformátoru

obr.15: Princip jednofázového Autotransformátoru[16]

3 Mendocino levitující motor

Základem tohoto motoru je rotor osazený dvěma polovanými toroidními, nebo válcovými magnety a dalšími čtyřmi magnety, které jsou usazeny na statoru. Levitace je zde způsobena odpuzováním shodných pólů magnetu. Musí zde platit, že odpudivá síla magnetu se musí rovnat síle tíhové našeho rotoru, toto je podmínkou pro levitaci. Poslední magnet je umístěn na statoru přímo pod vinutím, které je na rotoru.

Rotor je tvořen dvěma navinutými cívkami, které jsou navzájem posunuty o 90° (tedy jsou na sebe kolmé). Cívky jsou navinuty z měděného drátu tenkého průřezu. Průřez volíme tak aby se na rotor vešly dvě vinutí, každé o sto závitů. Nesmíme, ovšem volit příliš malý průřez jinak zde budou vlivem velkého odporu vznikat ztráty a účinnost motoru klesne. Nyní nám vzniknou dva stejné nezávislé obvody, viz obr. 14, každý tvořený jednou cívkou a dvěma rovnoběžnými fotovoltaickými články. Články, jsou vždy připojeny na cívku proti sobě tedy kladný pól na záporný tak, abychom zde vytvořili pomyslný komutátor, díky čemuž je napájena vždy cívka pod aktivním pólem.



obr.16: Schéma zapojení fotovoltaických článků s cívkou

Při nasvícení fotovoltaických článků nám začne proud vzniklý v těchto člancích téct přes cívku, kterou začne odpuzovat magnet umístěný na statoru pod vinutím a motor se pootočí. Nyní začne vytvářet elektrický proud další článek, který napájí druhou z cívek a ta je opět odpuzována magnetem umístěným na statoru, tento cyklus se opakuje tak dlouho, dokud není odstraněn zdroj světla. Proud je vlivem světelných paprsků vytvářen ve všech člancích, ale odpuzována je vždy ta cívka, která je připojena na článek, který má v danou chvíli polohu nejbližší poloze kolmé na zdroj záření a vytváří tak největší proud.[5]

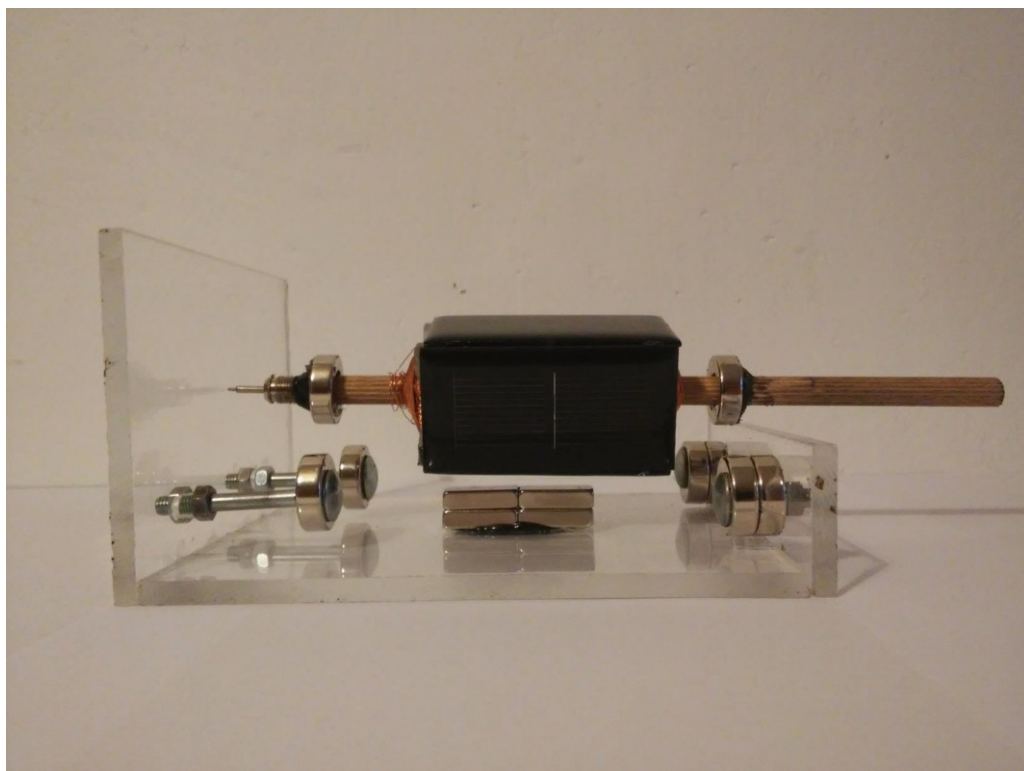
3.1 Využití Mendocino motoru

Mendocino motor je velice zajímavý přístroj, který lze využít k výuce a pochopení magnetických sil, principu fotovoltaických článků a reakce magnetu na cívku, kterou prochází proud. Tento přístroj by mohl být zařazen do výuky v těchto předmětech:

- 410-8302 Elektrické stroje a přístroje
- 410-2207 Elektrické stroje I
- 410-2318 Elektrické stroje II
- 410-4121 Elektrické stroje II
- 410-8301 Elektrické točivé

3.2 Sestrojení Mendocino motoru

Při sestavování Mendocino motoru, je velice důležitá preciznost práce, kvůli vyvážení rotoru a jemnému zacházení s vinutím na rotoru, které je připojeno na fotovoltaické články. Prvním bodem je vyrobení základny z plexiskla. V tomto případě bylo použito plexisklo tloušťky 5 mm. Konstrukce je spojena malými šroubky tak, aby zaručila dostatečnou pevnost. Po spojení základny, je nyní důležité vyvrtat otvory, do kterých budou následně vloženy šrouby, na kterých jsou připevněny magnety. Šrouby jsou na základnu umístěny tak, aby vytvořili požadované magnetické pole. Nyní je důležité sestavit hřídel rotoru. Hřídel musí být rovná a na jeden konec musí být umístěna špička. Špička je zde proto, aby měla hřídel co nejmenší styk se základnou, a tím se sníží tření mezi statorem (základnou) a rotorem. Dalším krokem je umístění dvou magnetů na hřídel. Jeden z magnetů, musí být umístěn tak, aby po umístění hřídele nad magnetické pole základny, tlačil hřídel směrem do bodu, ve kterém se hřídel dotýká základny. Následuje navinutí drátu na hřídel. Vinutí je tvořeno dvěma samostatnými cívkami posunutými o 90°. Při vinutí drátu na hřídel, je důležité vinout cívky vždy v jednom směru. Po navinutí drátu, následuje připojení fotovoltaických článků na vinutí, podle obrázku 16. Aby se motor otáčel, je nutné umístit pod rotor tvořený vinutím a fotovoltaickými články magnet, který reaguje s cívkami. Posledním krokem je vyvážení rotoru, tak aby se co možná nejlépe otáčel v magnetickém poli tvořeném magnety na základně.



obr.17: Mendocino motor

Na obrázku 17 vidíme Mendocino motor, který vlivem magnetických sil levituje. V základně jsou přimontovány šrouby, na kterých jsou připevněny magnety, které tvoří magnetické pole, na kterém levituje hřídel motoru. V přední části hřídele vidíme špičku, kterou se hřídel opírá o plexisklovou základnu. Přední magnet na hřídeli je posunutý tak, aby byla hřídel tlačena vlivem magnetických sil směrem k desce základny. Uprostřed pod rotorem je umístěn magnet, který slouží k interakci s cívkou, kterou prochází elektrický proud.



obr.18: Mendocino motor

Na obrázku 18 vidíme opět Mendocino motor, tentokrát ovšem z jiného pohledu, kdy jde vidět i vinutí navinuté na hřídeli motoru. Celý rotor s hřídelí musí být vyvážený, aby nedocházelo ke ztrátám energie vlivem nesymetrického otáčení. Dalším možným místem ztrát energie je místo, kde se hřídel dotýká základny. Z tohoto důvodu musíme použít špičku, která bude mít co možná nejmenší plochu, která se dotýká základny.

3.3 Náklady na výrobu Mendocino motoru

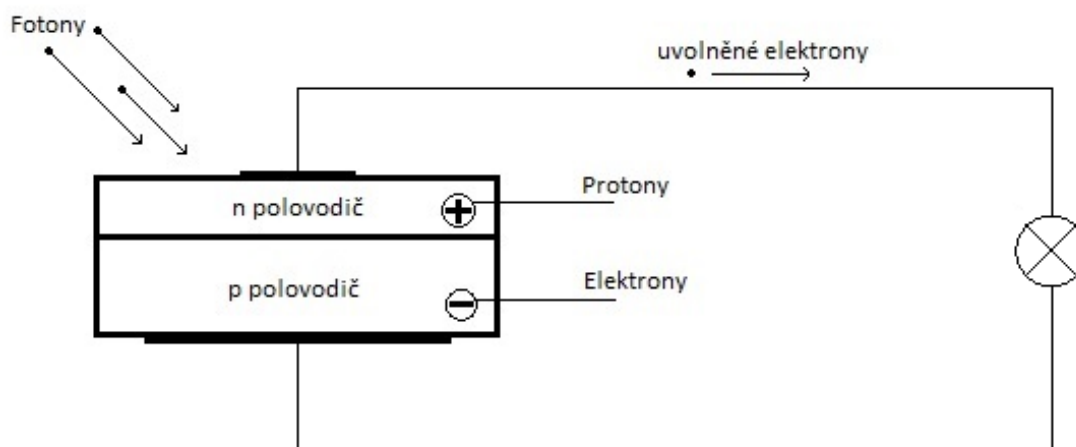
Seznam použitých komponentů pro výrobu Jakubova žebříku včetně pořizovací ceny:

Měděný lakovaný drát	300 Kč
Fotovoltaické články	500 Kč
Magnety	150 Kč
Plexisklo	200 Kč
Další drobné díly	100 Kč
Celková cena modelu	1 250 Kč

Cena tohoto modelu je poměrně nízká ve srovnání s cenou, za kterou je tento model k zakoupení na různých webových stránkách. Cena tohoto modelu na internetu se pohybuje v rozmezí 1800 Kč až 3000 Kč.

3.4 Princip fotovoltaického článku

Fotovoltaický článek je v podstatě polovodičová součástka, která umí měnit sluneční energii na elektrickou. Podstatou fotovoltaického jevu v polovodičích je srážka fotonu s dostatečnou energií s elektronem, který je uvolněn z pásu valenčního do pásu vodivostního. Po srážce zůstane ve valenčním pásu díra, která se nazývá chybějící elektron, která má kladný náboj a tendenci k tomu aby se do ní navrátil elektron z vedlejšího atomu, čímž se díra přesune na původní místo daného elektronu. Jinými slovy, při dopadu fotonu vznikne několik pohyblivých nábojů elektron-díra. Nyní se vlivem difúze, či elektrickým polem v okolí PN přechodu pohybují ve směru k elektrodě se stejnou polaritou. Elektrony se tedy přemísťují směrem k záporné elektrodě a díry směrem ke kladné elektrodě. Po připojení vnějšího obvodu začnou elektrony putovat ke kladné elektrodě, kde rekombinují s děrami. Průchod elektronů vodičem od jedné elektrody ke druhé se nazývá průchod elektrického proudu. [17]



obr.19: Princip fotovoltaického článku

3.5 Materiály pro fotovoltaické články

Pro výrobu solárních článků se využívá nejčastěji těchto tří materiálů:

- Křemík (Si)
- Arsenid galia (GaAs)
- Sulfid kademnatý (CdS)

Křemík

Je to nejpoužívanější materiál pro výrobu solárních článků. Používají se dva druhy tohoto materiálu: monokrystalický a polykrystalický. Při použití polykrystalického křemíku sice nedosáhneme tak vysokého výkonu, jako je tomu u monokrystalického křemíku, ale naopak oproti monokrystalickému křemíku potřebuje menší intenzitu osvětlení. Monokrystalický křemík k vysokému výkonu potřebuje i vysokou intenzitu osvětlení, při které má ovšem vysokou účinnost. Pro výrobu solárních článků potřebujeme velice čistý křemík. Pokud křemík není dostatečně čistý, fotony naráží do nečistot, které jsou obsaženy v křemíku, a tím se snižuje účinnost solárního článku. V dnešní době čistota křemíku dosahuje až 99,99998 %. [6]

Arsenid galia

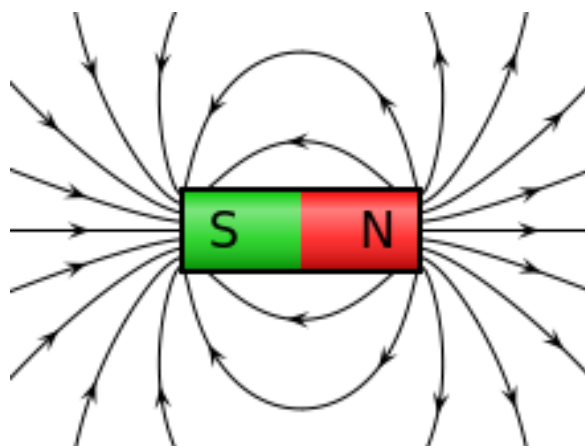
Hlavní výhodou při použití Arsenid galia oproti křemíku je vyšší účinnost, až o 20% a schopnost správně fungovat i při teplotách nad 100 stupňů Celsia. Nevýhodou je vysoká cena vyšší hustota GaAs oproti krystalickému křemíku. V dnešní době je snaha o vytvoření článků z kombinace Arsenid Galia a Křemíku. Díky tomu, že Arsenid galiové články využívají především spektrum směrem k červené barvě a Křemíkové směrem k modré jejich kombinací by vznikl článek s mnohem vyšší účinností až 30%. [9]

Sulfid kademnatý

Účinnost článků ze Sulfidu kademnatého se pohybuje okolo 10%. Jejich nespornou výhodou je malá hmotnost, díky čemuž našly využití v kosmických aplikacích. Nevýhodou je malá stabilita, kvůli které se dnes již téměř nepoužívají. Tento typ materiálu se ještě kombinoval s teluridem kademnatým z čehož vznikly systémy CdS-CdTe, ale ani tyto články díky slabému výkonu nejsou v dnešní době téměř vůbec využívány. [9]

3.6 Magnet

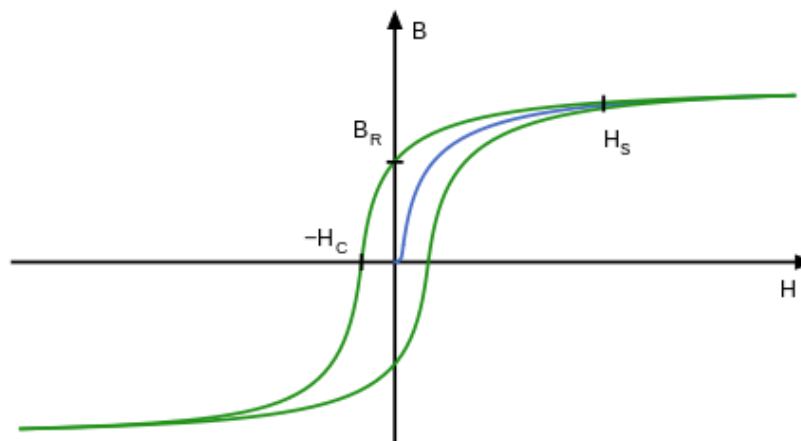
Magnet je těleso, které přitahuje tělesa ze železa, feromagnetických materiálů a jiné magnety. Magnet má vždy severní a jižní pól, tyto póly se značí podle anglického S (South) jižní pól magnetu a N (North) severní pól magnetu. Při rozdělení magnetu v polovině vzniknou opět dva další magnety s tímto rozdělením pólů. Existují přírodní magnety a magnety uměle vyrobené. Přírodní magnet vzniká z železa a jeho kyslíčků při chladnutí lávy v magnetickém poli, které je způsobeno magnetismem země. Jako příklad uměle vytvořeného magnet můžeme uvést cívku, kterou prochází elektrický proud. Při průchodu elektrického proudu cívkou vzniká magnetické pole, abychom u cívky určili směr magnetických siločar, použijeme pravidlo pravé ruky: Cívku uchopíme do pravé ruky, tak aby prsty ukazovaly směr, kterým teče elektrický proud v závitech cívky. Nyní nám palec ukazuje severní pól magnetu. Dalšími materiály pro výrobu magnetů jsou například směsi baria (Ba), samaria (Sa) a neodymia (Nd). Dalším rozdělením magnetů je rozdělení na magneticky tvrdé a měkké materiály.[10]



obr.20: Magnet[10]

3.7 Hysterezní křivka

Na této křivce sledujeme závislost magnetické indukce B na intenzitě magnetického pole H , při změně intenzity od $+H_{spo}$ $-H_s$. Hysterezní křivka nám v podstatě vypovídá o tom, jak se změní magnetické schopnosti materiálu, na který působí vnější magnetické pole. Tuto křivku vytvoříme pomocí jednoho takzvaného cyklu magnetování. Tuto křivku můžeme využít například k určení magnetických ztrát. Pomocí integrace vypočteme plochu v magnetické smyčce, která je přímo úměrná hysterezním ztrátám. Tyto ztráty vznikají při přemagnetování materiálu střídavým magnetickým polem. Hysterezní křivka, nám dále určuje, zda se jedná o materiál magneticky měkký, nebo magneticky tvrdý.[12]

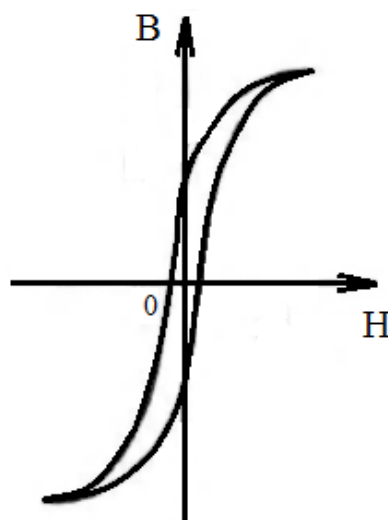


H_s - intenzita nasycení
 B_m -maximální indukce při nasycení
 B_r - remanentní (zbytková) indukce
 H_c -koercitivní síla

obr.21: Hysterezní křivka[12]

3.7.1 Magnetický měkké materiály

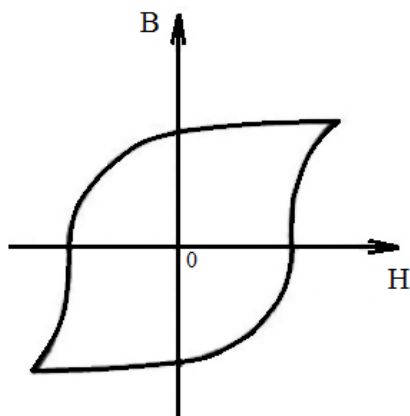
U magneticky měkkých materiálů platí, že jeho koercitivní intenzita a remanentní indukce nabývá menších hodnot, než jak je tomu u magneticky tvrdých materiálů. Tyto magneticky měkké materiály se využívají pro výrobu transformátorových a dynamových plechů pro elektrické stroje.[10]



obr.22: Hysterezní smyčka magneticky měkkého materiálu[12]

3.7.2 Magnetický tvrdé materiály

Oproti magneticky měkkým materiálům má magnetický tvrdý materiál vysokou koercivitu a remanentní indukci a tudíž i širší hysterezní smyčku. Tyto materiály se používají k výrobě permanentních magnetů.[10]



obr.23: Hysterezní smyčka magneticky tvrdého materiálu[12]

Neodymový magnet (NdFeB)

Tento druh magnetu byl donedávna nejsilnějším typem magnetu, který člověk stvořil. Vyrábí se pomocí práškové metalurgie, kdy se materiál složený z neodymu, železa a boru lisuje v magnetickém poli. Tento magnet dosahuje maximálního energetického součinu $(BH)_{\max}$ okolo 400 kJ/m^3 . Tento magnet se dále vyznačuje vysokou hodnotou remanentní magnetické indukce B_r a vysokou koercitivní intenzitou magnetického pole H_c . NdFeB podléhá korozi proto je nutné povrch tohoto magnetu ošetřit lakem, nebo jej pokovit například niklem (Ni). Nevýhodou tohoto magnetu je, že ne při teplotách nad 80°C ztrácí své magnetické vlastnosti, až na některé druhy, které si udrží magnetické vlastnosti až do 180°C , naproti tomu například feritové magnety mohou být použity až do teploty 300°C . [13]

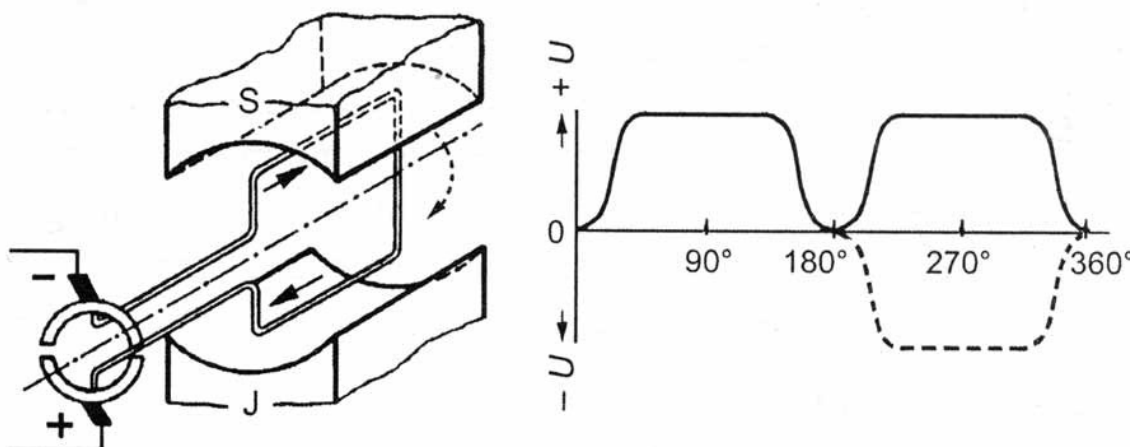
tab. 3 Magnetické parametry neodymového magnetu[13]

Symbol materiálu	Remanence (Br)	Koercivita (bHc)	Koercivita (jHc)	Max. energetický součin (BH) max.		Max. pracovní Betriebsova teplota
(NdFeB)	(kGs)	(kOe)	(kOe)	(Kj/m ³)	(MGsOe)	(°C)
N33	11,3-11,7	min. 10,5	min. 12	247-263	31-33	80

3.8 Stejnosměrné stroje

Stejnosměrné stroje se v podstatě skládají ze tří základních částí : stator, rotor a kostra, která zde má pouze mechanický a konstrukční účel. Tyto stroje jsou nejčastěji využívány v dopravě, v regulační technice, v dolech a u obráběcích strojů pro jejich jednoduchou regulaci otáček, velký kroučící moment při malých otáčkách a dobře přizpůsobitelné zatěžovací charakteristiky poháněnému zařízení. Z použití stejnosměrného stroje vidíme, že se používá ve většině případů tam, kde funguje v přerušovaném chodu, časté reverzaci, v místech kde jsou velké proudové i napěťové změny, tedy tam kde jsou na stroj kladeny náročné provozní podmínky. Tyto stroje se vyrábějí v řadách od několika málo wattů po asi 7 MW. Pro tyto výkony odpovídají otáčky zhruba od 100 do 180 ot/min^{-1} . Napětí u těchto strojů bývá do 1200V.

Principem stejnosměrného stroje (motoru) je, že vinutí na rotoru je napájeno zdrojem. Díky průchodu proudu cívkou se v cívce indukuje magnetické pole, které působí s magnetickým polem statoru a natáčí rotor. Díky stejnosměrnému napájení je nutno použít komutátor, který nám vždy před tím než by došlo k tomu, že by se rotor dostal do ustálené polohy přepne polaritu proudu po natočení rotoru o 180° , jak vidíme na obrázku 24 a tím se děj začne znovu opakovat a rotor se může otáčet. [7] , [8]



obr.24: princip jednoduchého stejnosměrného stroje[7]

4 Závěr

Cílem této bakalářské práce byla popularizace modelů pro elektroenergetiku, tedy seznámení širší veřejnosti s energetikou. V této bakalářské práci jsem se zabýval návrhem a sestavením dvou modelů, Jakubova žebříku a Mendocino motoru.

Na Jakubově žebříku můžeme sledovat chování elektrického oblouku. Tento model nám pomáhá blíže pochopit jevy, které při hoření oblouku vznikají. Při hoření oblouku dochází k uvolňování tepla vlivem vysoké teploty, při které oblouk hoří. Dalším jevem při hoření oblouku je vznik UV záření, které je pro člověka nebezpečné. Záření, které při hoření oblouku na Jakubově žebříku vzniká, není tak velké, aby bylo nutno použít stínění nebo jiné ochrany. Při hoření ovšem vzniká oxid dusný, který je člověku škodlivý. Tento plyn dále oxiduje na oxid dusičitý. Oxid dusičitý je prudce jedovatý a je nutno se před ním chránit, proto oblouk provozujeme jen po určitou dobu, aby se jeho koncentrace nezvýšila na vysokou hodnotu. Ideálně Jakubův žebřík provozujeme pouze v krátkých časových intervalech v dobře odvětraných místnostech. Tento model se dá dále používat pro bližší zkoumání elektrického oblouku, nebo se dá rozšířit tak, abychom mohli na tomto modelu provozovat i stejnosměrný oblouk. Jakubův žebřík, může sloužit, jako pomůcka při výuce elektrických oblouků, nebo principu zhašení oblouku. Jeho využití jakožto učební pomůcky, by bylo nejvhodnější v předmětech Elektrické přístroje a Technika vysokého napětí.

Mendocino motor je představitelem stejnosměrného stroje poháněného energií z fotovoltaických článků. Tento model využívá přeměny sluneční energie na elektrickou a vlivem interakce mezi magnetem a cívkou, kterou prochází proud, se otáčí. Na tomto modelu můžeme ukázat a vysvětlit fotovoltaický jev, působení magnetických a elektromagnetických sil. Tento model by se mohl dále rozšířit tak, že bychom, se pokusili odebrat část mechanické energie. Tato energie by mohla sloužit například pro lopatkový větrák. Mendocino motor je možné zařadit do výuky o stejnosměrných strojích, jako zástupce motoru fungujícího na fotovoltaické články. Tento model by mohl být použit jako učební pomůcka například v předmětech Elektrické stroje a přístroje, Elektrické stroje a Elektrické stroje točivé.

Tyto modely se dají využít při dni otevřených dveří, jako ukázkové modely, které jsou zajímavé pro veřejnost. Tyto modely mohou zaujmout veřejnost jak vizuálními efekty, tak zájmem o to na jakém principu fungují. Oba tyto přístroje se dají dále využít pro hlubší pochopení toho, jak vzniká elektrický oblouk, jak se chová a co má vliv na jeho hoření. V případě Mendocino motoru, je zde možnost zkoumání principů magnetismu a elektromagnetismu.

5 Literatura

- [1] elektrolab.wz.cz: Jakubův žebřík [online]. 2015 [cit. 2015-2-15] . Dostupný z WWW : http://elektrolab.wz.cz/?vn=jakubuv_zebrik
- [2] danyk.cz: Jakubův žebřík se zdrojem 12kV 300W[online]. 2015 [cit. 2015-2-20] . Dostupný z WWW : <http://danyk.cz/jz.html>
- [3] fei1.vsb.cz: Silnoprúdová elektrotechnika [online]. 2015 [cit. 2015-2-20] . Dostupný z WWW: http://fei1.vsb.cz/kat410/studium/studijni_materialy/se/SEL1a.pdf
- [4] VÁCLAV KONÍČEK: Elektrické stroje [online]. 2015 [cit. 2015-3-2] . Dostupný z WWW : <http://www.vosaspsekrizik.cz/cs/download/studium/sps/el-stroje-a-pristroje/transformatory.pdf>
- [5] PETR HAWLICZEK: Mendocino motor a mendocino vozítko. 2.11.2009 [online]. [cit. 2015-3-2] . Dostupný z WWW : <http://hawelson.blog.cz/0911/mendocino-motor-a-mendocino-vozik>
- [6] nemakej.cz : Fotovoltaika-obecně i konkrétně [online]. 2015 [cit. 2015-15-2] . Dostupný z WWW : <http://www.nemakej.cz/fotovoltaicky-jev-a-idealni-podminky-pro-solarni-elektrarny.php>
- [7] spse.dobruska.cz: Stejnosměrné stroje [online]. 2015 [cit. 2015-3-2] . Dostupný z WWW : <http://www.spse.dobruska.cz/download/sokol/ss.pdf>
- [8] Karel Chmelík, Stejnosměrné a komutátorové elektrické stroje, obecný stroj, 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita ISBN 80 – 7078 -857 -7
- [9] canov.jergym.cz Solární-fotovoltaické-články [online]. 27.3.2005 [cit. 2015-18-2] . Dostupný z WWW : <http://canov.jergym.cz/elektro/slunce/slunce.htm>
- [10] energetix.cz : Magnetismus [online]. 2015 [cit. 2015-18-2] . Dostupný z WWW : <http://www.energetix.cz/attachment/20100105093130687619902.pdf>
- [11] moodle.sspbrno.cz: Magnetické pole [online]. 2015 [cit. 2015-18-2] . Dostupný z WWW : https://moodle.sspbrno.cz/pluginfile.php/7452/mod_resource/content/1/Magnetick%C3%A9%20pole.pdf
- [12] quickiwiki.com : Hysterezní křivka [online]. 2015 [cit. 2015-1-4] . Dostupný z WWW : http://www.quickiwiki.com/cs/Hysterezn%C3%AD_k%C5%99ivka
- [13] magnety-magnety.com: Firma zabývající se neohmovými magnety [online]. 2015 [cit. 2015-1-4] . Dostupný z WWW : http://www.magnety-magnety.com/magnesy_neodymowe_spiekane.php
- [14] wikipedia.org: Oxid dusný [online]. 2015 [cit. 2015-1-4] . Dostupný z WWW : http://cs.wikipedia.org/wiki/Oxid_dusnat%C3%BD
- [15] wikipedia.org: Oxid dusičitý[online]. 2015 [cit. 2015-1-5] . Dostupný z WWW : http://cs.wikipedia.org/wiki/Oxid_dusi%C4%8Dit%C3%BD
- [16] elektrika.cz: Firma zabývající se elektrickými přístroji [online]. 2015 [cit. 2015-1-5] . Dostupný z WWW : <http://elektrika.cz/data/clanky/autotransformator>
- [17] oze.tzb-info.cz: Stručná historie fotovoltaiky [online]. 2015 [cit. 2015-1-5] . Dostupný z WWW : <http://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/11652-strucna-historie-fotovoltaiky>